

滚磨工艺对压电陶瓷振子性能的影响

陈伟,朱华,姚志军

(浙江嘉康电子股份有限公司,浙江嘉兴314000)

摘要:介绍行星式滚磨工艺在压电陶瓷频率元件制造过程的应用,对压电陶瓷振子的频率具有调整作用。在给出不同滚磨试验条件下得到不同的滚磨结果。结果分析得出滚磨工艺影响压电陶瓷振子性能的关键因素,确定了滚磨条件。压电陶瓷频率元件产品的主要指标——振子频率控制精度要求越来越高,通过行星式滚磨机的滚磨加工,实现频率精细调整的目的。

关键词:压电陶瓷振子;滚磨工艺;磨球粒径;转速;滚磨时间

中图分类号:TN384 **文献标识码:**A

Effect of Ball Milling Process on Properties of Piezoelectric Ceramic Elements

CHEN Wei, ZHU Hua, YAO Zhijun

(Zhejiang Jiakang Electronics Co., Ltd, Jiaxing 314000, China)

Abstract: This paper introduces the application of planet ball-milling process to the piezoelectric ceramic frequency device manufacturing process, the role in the adjustment of the piezoelectric ceramic oscillator frequency and the profile chamfering process of the vibrators. The results obtained in the process of ball milling of piezoelectric ceramic vibrators performance under different processing conditions are given. The key factoring effecting on the properties of piezoelectric ceramic vibrators was obtained. Main parameters of piezoelectric ceramic frequency components of the frequency accuracy is higher and higher, by ball-milling machining planet mill, realizing the fine adjustment of the element frequency.

Key words: piezoelectric ceramic elements; ball milling process; ball radius; barrel speed; ball milling time

0 引言

压电陶瓷厚度振动^[1]谐振器、滤波器在音频及通讯等领域应用广泛。随着电子产品小型化、多功能化发展要求,各生产厂家对产品的频率精度要求越来越高。在汽车电子领域,频率精度已由 $\pm 3\%$ 提高到 $\pm 1\%$,这对于压电陶瓷振子制造过程中频率精度控制提出了更高的要求。

压电陶瓷振子的频率由压电陶瓷材料的特性决定,压电陶瓷振子表面的金属层质量及表面覆盖物的质量直接影响振子的频率大小,增加或磨削振子的有效负载可调整振子的频率高低。压电陶瓷振子的表面金属层厚为 $1\sim 2\ \mu\text{m}$,根据材料频率常数计算,压电陶瓷振子的频率变化量为 $50\sim 100\ \text{kHz}$ 。同样,振子电极表面的覆盖物(如调频油墨)也具有相同的变化量,所以,在制造过程中,压电陶瓷振子可通过滚磨工艺磨削振子表面覆盖物的方式来微调振子的频率,以实现频率的精细控制,达到产品频

率的高精度控制目标。滚磨工艺的主要原理是利用行星式滚磨机转动时,滚筒及物料在自转的同时绕转台回转中心反向公转,公转和自转的合成结果,使筒内物料在高速运动情况下出现剧烈摩擦、滑移和翻滚等。通过控制滚筒的转速、加工时间,使工件表面的金属层或负载物得以磨削、去除,使压电陶瓷振子的振动频率上升,从而实现频率调整的目的。本文通过调整磨球粒径大小、滚磨时间和滚磨转速试验,分析压电陶瓷振子频率变化量趋势和影响滚磨效果的主因。

1 试验过程

试验选用东邦钢机株式会社的卧式行星式滚磨机(TAB-14),球磨罐内径 $\varnothing 90\ \text{mm}$,磨球选用氧化铝磨球和氧化锆磨球,磨球粒径分别为 $\varnothing 1.0\ \text{mm}$ 、 $\varnothing 2.0\ \text{mm}$ 、 $\varnothing 3.0\ \text{mm}$ 、 $\varnothing 4.0\ \text{mm}$,将适量的磨球和一定量的振子(约 $300\ \text{g}$)倒入六角形的球磨罐中,加

收稿日期:2014-07-10

作者简介:陈伟(1967-),男,浙江宁波人,工程师,主要从事压电陶瓷频率元件的产品研发、生产制造管理工作。

入水至罐深度的3/4处,再加入约5 mL的中性洗涤剂,盖上密封压板。将4个球磨罐装入行星式滚磨机,设定滚磨转速及滚磨时间,开启滚磨功能。滚磨时间结束后,从球磨罐中取出振子,经酒精脱水后晾干,用网络分析仪对振子的性能逐一进行测试,对所测振子性能参数进行相关的分析和比较。

2 结果与分析

根据滚磨后振子频率变化量的大小,对滚磨的影响因素排序为滚磨时间、磨球粒径和滚磨转速。滚磨工艺应用在压电陶瓷产品的制造过程中,不同的滚磨条件对频率的调整有明显的差异,通过调整滚磨工艺参数可控制振子滚磨效果的调整量,达到生产压电陶瓷振子频率的目标值。

2.1 滚磨时间对振子频率变化量的影响

将需要滚磨的振子(300 g)装入球磨罐中,磨球与振子质量比为1:1,设定转速变频器工作频率为30 Hz,开启滚磨加工。在球磨罐内,振子在高速运动情况下出现剧烈的磨擦,振子与振子、磨球与振子表面发生高效率的磨削、冲击,振子的金属层或电极表面覆盖物受到持续的磨削。随着滚磨时间的增加,振子表面的金属层受到的研磨程度加剧,表面金属质量减少,振子的振动频率逐渐升高,滚磨时间与振子频率变化量的关系如图1所示。由图可看出,在滚磨刚启动的短时间内,磨球对陶瓷振子的冲击力作用大,磨削量最大,随着滚磨时间的增加,由于磨削下来的粉状物料数量增加,振子受力以研磨作用为主,振子表面金属层在研磨作用下,磨削量减缓。由图还可看出,随着滚磨时间的增加,振子的频率变化量曲线趋向平缓。

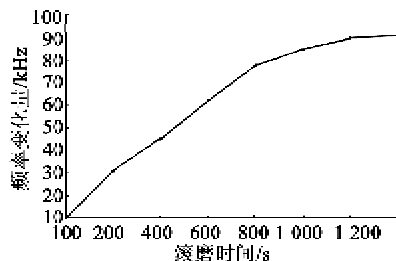


图1 滚磨时间与振子的频率变化量关系

滚磨频率调整量主要是由振子表面金属层质量决定,由于振子表面金属层厚度直接影响振子电性能参数及后续工序焊接等加工效果。所以一般在判定滚磨工艺对频率调整量的同时,还需综合考虑对振子其他性能的影响。如滚磨时间过长会使陶瓷振

子的阻抗特性变差、银层面耐焊接热及银层结合力变弱,进而影响振子的综合电性能参数。试验结果表明,滚磨加工时间宜控制在1500 s内。

2.2 磨球对振子频率变化量的影响

通过行星式滚磨机的力学分析可知,加工的振子在滚磨过程中受罐壁的作用力、向心力和磨球的运动惯性力等运动冲击力的作用。磨球在运动时对振子有冲击和研磨2种工作状态。磨球的冲击力由单个磨球的能量决定,在滚磨机中球体被提升到一定的高度(h)获得势能(mgh),然后呈抛落状态,磨球的运动作用力转变为磨球的动能,对陶瓷振子施加的冲击力^[2]为

$$F \propto mgh \propto mgD \quad (1)$$

式中: D 为球磨罐内径; m 为磨球质量; $g=9.8 \text{ m/s}^2$ 。

磨球材质及粒径是影响振子频率变化量的主要因素。

2.2.1 磨球材质选择

磨球应具有较高的耐磨性和耐冲击性。要求其材质坚硬、耐磨且不易破裂。试验时选取 $\varnothing 2.0 \text{ mm}$ 氧化铝磨球和氧化锆磨球,按上述的装载量进行滚磨试验,2种材质磨球的试验结果如图2所示。

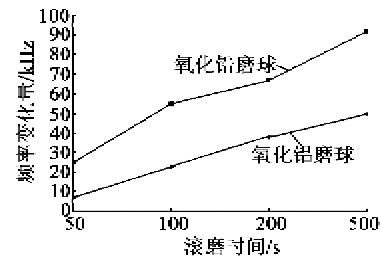


图2 不同材质磨球的滚磨时间与振子频率变化量的关系

氧化铝磨球的密度为 3.62 g/cm^3 ,氧化锆磨球的密度为 5.96 g/cm^3 ,两者密度差异较大,同样的粒径磨球的质量不同,在相同转速下对振子表面的冲击力相差大,对振子表面金属层的磨削程度不同。由图2可见,氧化锆磨球对振子频率变化量的影响较大,在时间上不易精确控制。因此选用氧化铝磨球进行粒径大小对振子频率变化量影响的试验。

2.2.2 磨球粒径对振子频率变化量的影响

磨球粒径与质量影响磨球、振子和球磨罐内壁的正压力和摩擦力,增加磨球粒径可增加磨球对振子的接触面积、冲击力和剪切力。在磨球总质量不变时,单位磨球质量减小,则磨球数量就越多,与振

子间的接触点就越多。所以适当减小磨球直径可增加磨球的数量,提高加工效率;但过小的磨球在滚磨加工时其对振子表面的冲击力和剪切力不足,无法有效磨削掉振子表面的电极层及覆盖物,从而降低滚磨效率;过大的磨球在滚磨运转中磨球所携带的能量较大,当振子的抗冲击强度低于磨球的冲击力时就会造成振子的碎裂,且由于粒径大的磨球磨削速度过快,对频率变化量控制变难。在选择磨球时,一般需根据振子的尺寸、厚度及抗冲击强度来选择。在转速变频器工作频率设置为 30 Hz、滚磨时间 200 s、振子与磨球总质量不变的情况下,不同磨球粒径对振子频率变化量的影响如图 3 所示:

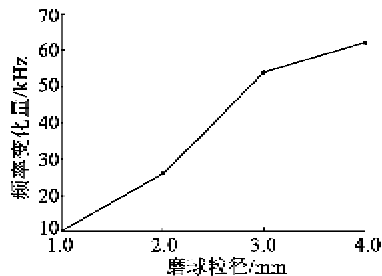


图 3 磨球粒径对振子频率变化量的影响

由图 3 可看出,在选用 $\varnothing 1.0$ mm 磨球时,滚磨对振子频率变化量影响较小,选用 $\varnothing 2.0$ mm、 $\varnothing 3.0$ mm 磨球时,滚磨效果较好,在选用 $\varnothing 4.0$ mm 磨球时与选用 $\varnothing 3.0$ mm 磨球相比频率无明显提高,但在选用 $\varnothing 4.0$ mm 磨球加工后,振子的碎片率已上升至 10% 左右,这说明滚磨加工时 $\varnothing 4.0$ mm 磨球的冲击力已过大,易造成振子的碎裂。通过试验发现,滚磨的磨球粒径选择一般为振子宽度尺寸的 1/2 左右。

2.3 滚磨转速对振子频率变化量的影响

滚磨机内的物料运动状态与转速有关,不同转速下球磨罐内磨球与物料的运动规律不同,运动规律主要受重力和离心力的共同影响。图 4 为球磨罐内磨球与物料可能的 3 种运动的状态^[9]。在低转速时,离心力很小,磨球与物料主要受重力作用,在球磨罐转动过程中,磨球与物料向下滑动,基本上呈直线运动,磨削效率低。当转速增加时,离心力增加,磨球与物料受重力、离心力及罐壁法向反作用力的影响,运动轨迹呈曲线状态,此状态下,磨球与物料在球磨罐内提升到一定高度时抛落下来,磨球会对物料产生较大的冲击及研磨力,磨削效率高。当然,磨球与物料的运动存在一临界转速,当其所受离心

力大于重力时,则会始终附在罐壁上作圆周运动,对物料起不到冲击和研磨作用。转速过低或过高均影响磨球与物料的运动,这都不利于物料表面研磨,其运动存在一临界转速,即

$$n_0 = \frac{30}{\sqrt{R_1}} = \frac{12.4}{\sqrt{D_0}} \quad (2)$$

式中: n_0 为临界转速; R_1 为筒体有效半径; D_0 为滚磨机筒体有效直径。

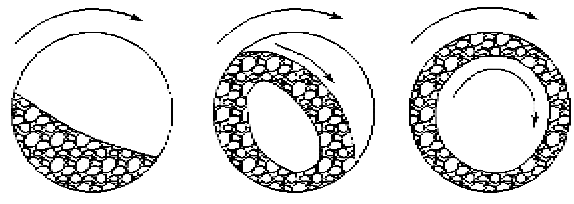


图 4 球磨罐内磨球与物料的运动状态

根据式(2)计算的 n_0 值作为参考,通过具体的试验进行必要的修正,确定滚磨机转速。实际上磨球与物料间存在相对滑动、具体物料情况等均会影响临界转速。要想准确选择适宜的工作转速,则需要一定的生产条件下作转速试验,根据产品产量、质量和动力消耗等技术经济指标等综合考虑确定。图 5 为选用磨球粒径 $\varnothing 2.0$ mm 的磨球、滚磨时间 200 s,在不同转速下试验测得的滚磨转速与振子频率变化量的关系曲线。

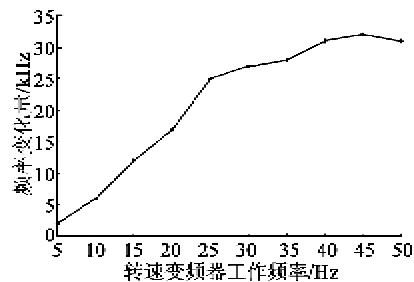


图 5 滚磨转速对振子频率变化量的影响

由图 5 可看出,振子在转速变频器工作频率设置低于 10 Hz 时,磨球及振子的撞击和摩擦作用较弱,磨球与振子在球磨罐内基本上呈直线运动始终处于球磨罐的底部,金属层磨削量小。在转速变频器工作频率为 25~40 Hz 时,磨球与振子呈曲线运动,磨球与振子相互撞击和摩擦加剧,金属层磨削量大,振子频率变化量较大。在转速变频器工作频率设置高于 50 Hz 时,受离心力变大的作用,磨球与物料相互运动减弱,金属层磨削量开始下降,频率变化量减小。由图 5 还可见,当转速变频器工作频率为 30 Hz 时,对振子频率变化量控制较好。

确定了影响滚磨效果的主要因素,进一步研究了滚磨时间与振子频率变化量的对应关系,本研究成果实际应用于生产线压电陶瓷振子频率的控制取得了很好的效果。

3 结论

1) 经长期试验、生产和数据整理分析,压电陶瓷厚度振动谐振器、滤波器产品采用 $\varnothing 2.0$ mm磨球、转速变频器工作频率30 Hz的条件,调整滚磨时间可控制振子频率。

2) 对不同大小压电陶瓷振子产品进行加工时,磨球、滚磨机转速和滚磨时间等,宜根据压电陶瓷振子的具体大小和综合电性能参数的要求,选择更经

济合理的滚磨加工工艺条件。

参考文献:

- [1] 张沛霖,钟维烈,王玉国,等. 压电材料与器件物理[M]. 济南:山东科技出版社,1997.
- [2] 王频,沈晓阳,刘迎春,等. 离心滚筒光磨机的结构参数设计研究[J]. 机械科学与技术,2003,22(3): 386-388. WANG Ping, SHEN Xiaoyang, LIU Yingchun. Study on parameters design of a machine of horizontal centrifugal barrel finishing[J]. Mechanical Science and Technology,2003,22(3): 386-388.
- [3] 王美英,陈二云. 球磨机理论转速的研究[J]. 株冶科技,1994,22(2):31-35.

(上接第 797 页)

参考文献:

- [1] SMOLENSKII G A, ISUPOV V A, SKAYA A I A, et al. New ferroelectrics of complex composition IV[J]. Sov Phys Solid State,1961,2(12):2651-2654.
- [2] XU Q, CHEN M, CHEN W, et al. Effect of CoO additive on structure and electrical properties of $(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.93}\text{-Ba}_{0.07}\text{TiO}_3$ ceramics prepared by the citrate method. Acta Mater,2008,56(3):642-650.
- [3] HU H, ZHU M, XIE F, et al. Effect of Co_2O_3 additive on structure and electrical properties of $85(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-}12(\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-}3\text{BaTiO}_3$ lead-free piezoceramics[J]. J Am Ceram Soc,2009,92(9):2039-2045.
- [4] AKSEL E, FORRESTER J S, JONES J L, et al. Monoclinic crystal structure of polycrystalline $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ [J]. Appl Phys Lett,2011,98(15):152901.
- [5] 郑凯平,江向平,陈超,等. Co_2O_3 掺杂对 $(\text{Na}_{0.8}\text{K}_{0.2})_{0.5}$

$\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ 陶瓷结构与电性能的影响[J]. 中国陶瓷,2013,3(3):5-9.

- ZHENG Kaiping, JIANG Xiangping, CHEN Chao, et al. Effect of Co_2O_3 -doped on structure and electrical properties of $(\text{Na}_{0.8}\text{K}_{0.2})_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ ceramics[J]. China Ceramics,2013, 3(3):5-9.
- [6] SUN R, ZHANG Q, FANG B, et al. Dielectric, electro-mechanical coupling properties of Mn-doped $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ lead-free single crystal[J]. Appl Phys A,2010,103(1):199-205.
- [7] 刘瑾,刘君峰,程卫星,等. 添加 Sb_2O_3 对 NBT 基陶瓷介电和铁电性能的影响[J]. 压电与声光,2007,29(6):673-676.
- LIU Cui, LIU Junfeng, CHENG Weixing, et al. Study on dielectric and ferroelectric properties of NBT-based lead-free piezoelectrics doped by Sb_2O_3 [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics,2007,29(6):673-676.

(上接第 800 页)

- [7] MA W, CROSS L E. Observation of the flexoelectric effect in relaxor $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ceramics[J]. Lett,2001,78(19):2920-2921.
- [8] NGUYEN T D, MAO Sheng, YEH Y W, et al. Nanoscale flexoelectricity [J]. Advanced Materials,2013,25(7):946-974.
- [9] MA W. Flexoelectric charge separation and size dependent piezoelectricity in dielectric solids [J]. Phys Status Solidi B,2010,247(1):213-218.
- [10] 牟坤昌,隋万美,栾世军,等. 钛酸铋钡纳米粉体与陶瓷的制备及性能[J]. 压电与声光,2008,30(2):218-220.

MU Kunchang, SUI Wanmei, LUAN Shijun, et al. Preparation and properties of $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ powder and ceramics [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics,2008,30(2):218-220.

- [11] 杨忠波,常爱民,赵青,等. BST 陶瓷制备及介电性能研究[J]. 压电与声光,2007,29(2):198-200. YANG Zhongbo, CHANG Aimin, ZHAO Qing, et al. Preparation of BST ceramics and their dielectric properties [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics,2007,29(2):198-200.
- [12] WANG Q M, CROSS L E. Performance analysis of piezoelectric cantilever bending actuators[J]. Ferroelectrics,1998,215(1):187-213.